

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101980760 A

(43) 申请公布日 2011.02.23

(21) 申请号 200980111038.3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009.03.24

B01D 53/047(2006.01)

(30) 优先权数据

B01D 53/04(2006.01)

12/056887 2008.03.27 US

F04D 27/02(2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.09.27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/038021 2009.03.24

(87) PCT申请的公布数据

W02009/120654 EN 2009.10.01

(71) 申请人 普莱克斯技术有限公司

地址 美国康涅狄格州

(72) 发明人 M·S·曼宁 J·斯莫拉雷克

A·阿布德瓦哈布 M·钱塔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张群峰

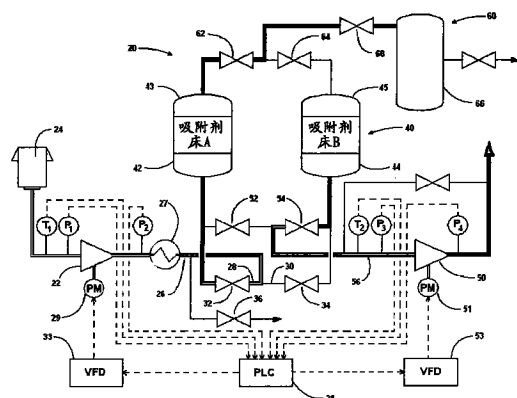
权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图 7 页

(54) 发明名称

使用带有高速永磁电动机的离心式压缩机的
PSA 气体分离系统和方法

(57) 摘要

本发明提供了用于气体分离的系统和方法，
其使用高速永磁变速电动机来使适用于变压吸附
(PSA) 或真空变压吸附 (VPSA) 过程中的离心式压
缩机加速和减速。



1. 一种气体分离系统,包括:
至少一个容器,其容纳包含至少一种吸附材料的至少一个吸附床;
至少一个供给离心式压缩机,其构造成由相关联的电动机驱动,所述相关联的电动机包括高速永磁变速电动机;以及
控制装置,用于接收所述系统中状态的数据信号并且响应于所述状态传送给驱动所述至少一个供给离心式压缩机的高速永磁电动机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够在指定转速下运行;并且
其中,所述至少一个吸附床构造成在运行期间进行循环加压和减压。
2. 如权利要求 1 所述的系统,还包括由相关联的电动机驱动的至少一个第二供给压缩机,其中,所述至少一个第二供给压缩机是旋转叶片鼓风机并且所述相关联的电动机是感应电动机。
3. 如权利要求 1 所述的系统,还包括由相关联的电动机驱动的至少一个真空压缩机,其中,所述至少一个真空压缩机是旋转叶片鼓风机并且所述相关联的电动机是感应电动机。
4. 如权利要求 1 所述的系统,还包括至少一个真空离心式压缩机和相关联的高速永磁变速电动机。
5. 如权利要求 4 所述的系统,还包括由相关联的电动机驱动的至少一个第二真空压缩机,其中,所述至少一个第二真空压缩机是旋转叶片鼓风机,并且所述相关联的电动机是感应电动机。
6. 如权利要求 4 所述的系统,其特征在于,所述至少一个供给离心式压缩机的相关联的电动机与至少一个相关联的变频驱动器通信,并且所述至少一个相关联的变频驱动器与所述控制装置通信,并且其中,所述至少一个真空离心式压缩机的相关联的电动机与至少一个相关联的变频驱动器通信,并且所述至少一个相关联的变频驱动器与所述控制装置通信。
7. 如权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述系统中的所述状态包括所述至少一个供给离心式压缩机的进口压力和出口压力、以及所述至少一个供给离心式压缩机的进口温度。
8. 如权利要求 7 所述的系统,其特征在于,所述控制装置构造成确定所述至少一个供给离心式压缩机的压力比(出口压力/进口压力)。
9. 如权利要求 8 所述的系统,其特征在于,所述控制装置在运行期间响应于所述至少一个供给离心式压缩机的压力比和进口温度,把要以之运行的转速传送给所述至少一个供给离心式压缩机的相关联的高速永磁电动机。
10. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述相关联的高速永磁电动机直接联接到所述至少一个供给离心式压缩机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够沿着预定效率线运行。
11. 如权利要求 10 所述的系统,其特征在于,所述预定效率线是由与在不同转速和工艺条件下所述至少一个供给离心式压缩机的压缩机工作曲线的最高效率点相对应的点的轨迹所代表的最佳效率线。
12. 如权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述系统包括用于回收从 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 H_2 或

氦气中选择的至少一种气体的变压吸附或真空变压吸附系统。

13. 如权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述至少一个高速永磁电动机包括至少一个稀土高速永磁电动机。

14. 一种气体分离系统,包括:

至少一个容器,其容纳包含至少一种吸附材料的至少一个吸附床;

至少一个供给压缩机,其构造成由相关联的电动机驱动;

至少一个真空离心式压缩机,其构造成由相关联的高速永磁变速电动机驱动;以及

控制装置,用于接收所述系统中状态的数据信号并且响应于所述状态传送给驱动所述至少一个真空离心式压缩机的相关联的高速永磁电动机,使得所述至少一个真空离心式压缩机能够在指定转速下运行;并且

其中,所述至少一个吸附床构造成在运行期间进行循环加压和减压。

15. 一种气体分离系统,包括:

至少一个容器,其容纳包含至少一种吸附材料的至少一个吸附床;

至少一个供给离心式压缩机,其构造成由相关联的高速永磁变速电动机驱动;

至少一个真空离心式压缩机,其构造成由相关联的高速永磁变速电动机驱动;以及

控制装置,用于接收所述系统中状态的数据信号并且响应于所述状态传送给与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够在指定转速下运行,并且响应于所述状态传送给与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,使得所述至少一个真空离心式压缩机能够在指定转速下运行;并且

其中,所述至少一个容器构造成在运行期间进行循环加压和减压。

16. 如权利要求 15 所述的系统,还包括由相关联的电动机驱动的至少一个第二供给压缩机,其中,所述至少一个第二供给压缩机是旋转叶片鼓风机并且所述相关联的电动机是感应电动机。

17. 如权利要求 15 所述的系统,还包括由相关联的电动机驱动的至少一个第二真空压缩机,其中,所述至少一个第二真空压缩机是旋转叶片鼓风机并且所述相关联的电动机是感应电动机。

18. 如权利要求 15 所述的系统,其特征在于,所述至少一个供给离心式压缩机的相关联的电动机与相关联的变频驱动器通信,并且所述相关联的变频驱动器与所述控制装置通信,并且其中,所述至少一个真空离心式压缩机的相关联的电动机与相关联的变频驱动器通信,并且所述相关联的变频驱动器与所述控制装置通信。

19. 如权利要求 15 所述的系统,其特征在于,所述系统中的所述状态包括所述至少一个供给离心式压缩机的进口压力 (P_1)、出口压力 (P_2) 和进口温度;并且其中,所述系统中的所述状态包括所述至少一个真空离心式压缩机的进口压力 (P_3)、出口压力 (P_4) 和进口温度;并且其中,所述控制装置构造成确定所述至少一个供给离心式压缩机的压力比 (P_2/P_1);并且其中,所述控制装置构造成确定所述至少一个真空离心式压缩机的压力比 (P_4/P_3)。

20. 如权利要求 19 所述的系统,其特征在于,所述控制装置在运行期间响应于所述至少一个供给离心式压缩机的压力比 (P_2/P_1) 和进口温度,把要以之运行的转速传送给与所

述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,并且其中,所述控制装置在运行期间响应于所述至少一个真空离心式压缩机的压力比 (P_4/P_3) 和进口温度,把要以之运行的转速传送给与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机。

21. 如权利要求 20 所述的系统,其特征在于,与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机直接联接到所述至少一个供给离心式压缩机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够在预定效率下工作,并且其中,与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机直接联接到所述至少一个真空离心式压缩机,使得所述至少一个真空离心式压缩机能够沿着预定效率线运行。

22. 如权利要求 21 所述的系统,其特征在于,所述预定效率线是由与在不同转速和工艺条件下相应的所述至少一个供给离心式压缩机和所述至少一个真空离心式压缩机的相应压缩机工作曲线的最高效率点相对应的点的轨迹所代表的最佳效率线。

23. 如权利要求 15 所述的系统,其特征在于,所述系统包括真空变压吸附系统,该真空变压吸附系统具有至少两个吸附容器,每个容器中容纳包含至少一种吸附材料的至少一个吸附床,并且所述真空变压吸附系统回收从 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 H_2 或氦气中选择的至少一种气体。

24. 如权利要求 15 所述的系统,其特征在于,与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机包括高速稀土永磁电动机并且直接联接到所述至少一个供给离心式压缩机,并且其中,与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机包括高速稀土永磁电动机并且直接联接到所述至少一个真空离心式压缩机。

25. 一种气体分离方法,该方法包括:

用由相关联的高速永磁变速电动机驱动的至少一个供给离心式压缩机压缩供给气体;

把供给气体引入容纳包含至少一种吸附剂材料的至少一个吸附剂床的至少一个容器中,所述供给气体包括至少一种较不容易吸附的成分和至少一种较容易吸附的成分;

让所述气体通过所述至少一种吸附剂材料,使得所述较容易吸附的成分被所述至少一种吸附剂材料吸附;以及

抽出富含所述较不容易吸附成分的气体;并且

其中,在所述方法期间对所述至少一个吸附剂床进行循环加压和减压。

26. 如权利要求 25 所述的方法,还包括使用控制装置监测所述方法,所述控制装置用于接收系统中状态的数据信号并且响应于所述状态传送给与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够在指定转速下运行。

27. 如权利要求 25 所述的方法,其特征在于,所述系统中的所述状态包括所述至少一个供给离心式压缩机的进口压力 (P_1)、出口压力 (P_2) 和进口温度,并且其中,所述控制装置构造成确定所述至少一个供给离心式压缩机的压力比 (P_2/P_1)。

28. 如权利要求 27 所述的方法,其特征在于,所述控制装置响应于所述至少一个供给离心式压缩机的压力比 (P_2/P_1) 和进口温度,把要以之运行的转速传送给与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机。

29. 如权利要求 28 所述的方法,其特征在于,与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机直接联接到所述至少一个供给离心式压缩机,使得所述至少一个供给

离心式压缩机能够沿着预定效率线运行。

30. 如权利要求 29 所述的方法,其特征在于,所述方法包括具有至少两个吸附容器的变压吸附或真空变压吸附系统,每个容器中容纳包含至少一种吸附材料的至少一个吸附床。

31. 一种气体分离方法,该方法包括:

用由相关联的高速永磁变速电动机驱动的至少一个供给离心式压缩机压缩供给气体;

把供给气体引入容纳包含至少一种吸附剂材料的至少一个吸附剂床的至少一个容器中,所述供给气体包括至少一种较不容易吸附的成分和至少一种较容易吸附的成分;

使所述气体通过所述至少一种吸附剂材料,使得所述较容易吸附的成分被所述至少一种吸附剂材料吸附;以及

使用由相关联的高速永磁变速电动机驱动的至少一个真空离心式压缩机,抽出富含所述较容易吸附成分的气体;并且

其中,在所述方法期间对所述至少一个吸附剂床进行循环加压和减压。

32. 如权利要求 31 所述的方法,还包括使用控制装置监测所述方法,所述控制装置用于接收所述系统中状态的数据信号并且响应于所述状态传送给与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够在指定转速下运行,并且还包括使用控制装置监测所述方法,所述控制装置用于接收所述系统中状态的数据信号并且响应于所述状态传送给与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,使得所述至少一个真空离心式压缩机能够在指定转速下运行。

33. 如权利要求 32 所述的方法,其特征在于,所述系统中的所述状态包括所述至少一个供给离心式压缩机的进口压力 (P_1)、出口压力 (P_2) 和进口温度,并且其中,所述系统中的所述状态包括所述至少一个真空离心式压缩机的进口压力 (P_3)、出口压力 (P_4) 和进口温度,并且其中,所述控制装置构造成确定所述至少一个供给离心式压缩机的压力比 (P_2/P_1),并且其中,所述控制装置构造成确定所述至少一个真空离心式压缩机的压力比 (P_4/P_3)。

34. 如权利要求 33 所述的方法,其特征在于,所述控制装置响应于所述至少一个供给离心式压缩机的压力比 (P_2/P_1) 和进口温度,把要以之运行的转速传送给与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机,并且其中,所述控制装置响应于所述至少一个真空离心式压缩机的压力比 (P_4/P_3) 和进口温度,把要以之运行的转速传送给与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机。

35. 如权利要求 34 所述的方法,其特征在于,与所述至少一个供给离心式压缩机相关联的高速永磁电动机直接联接到所述至少一个供给离心式压缩机,使得所述至少一个供给离心式压缩机能够沿着预定效率线运行,并且其中,与所述至少一个真空离心式压缩机相关联的高速永磁电动机直接联接到所述至少一个真空离心式压缩机,使得所述至少一个真空离心式压缩机能够沿着预定效率线运行并且其中,所述方法包括真空变压吸附方法。

使用带有高速永磁电动机的离心式压缩机的 PSA 气体分离 系统和方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及使用高速永磁电动机和离心式压缩机的气体分离方法和系统，所述电动机具有变频电动机转速控制器，离心式压缩机用于对这种系统内的吸附剂容器进行加压和 / 或抽空。

背景技术

[0002] 把一种气体从与其它气体的混合物中分离出来是重要的工业过程。在这样的过程中，目的可能是获得富含特定气体的产品气体，或者是获得从特定气体中除去了不希望有的组分的产品。例如，存在工业规模的过程来分离空气以获得氮气、氧气和氩气以及用于空气预纯化。

[0003] 更具体地说，可以利用吸附过程特别是变压吸附 (PSA) 型和真空变压吸附 (VPSA) 型的吸附过程来实现空气分离。在 PSA 和 VPSA 过程中，压缩空气被泵送经过吸附剂的固定床，该吸附剂对主要组分中的一种组分表现出吸附偏好，由此获得富含未被吸附 (或较少被吸附) 组分的流出产品流。与低温过程相比，用于空气分离的吸附过程需要相对简单的设备并且相对容易维护。然而，吸附过程的产品回收率通常比许多低温过程低。由于这个原因，对吸附过程的改进依然是重要目标。一种主要的改进方法是发现及开发出更好的吸附剂。一些这类吸附剂已经在给定的吸附过程中使循环时间变短。

[0004] 持续存在对功率消耗较低的 PSA 和 VPSA 设备的需求。基本过程利用选择性吸附剂来除去气体混合物的至少一种成分，采用四个基本工序：(1) 吸附、(2) 减压、(3) 吹扫、和 (4) 再加压。含有较易吸附成分和较不易吸附成分的气体混合物在预定 (高) 的吸附压力下经过能够选择性吸附较易吸附成分的至少一个吸附剂床。在此高压下离开吸附剂床的气流现在富含较不易吸附的成分，并且例如作为产品而被取走。当吸附剂床饱和和吸附了容易吸附的成分时，此后将该吸附剂床减压到较低的解吸压力从而对容易吸附的成分进行解吸，然后使该气体从系统中排出。一些工艺可以包括另外的步骤，例如均衡化和产品加压。

[0005] 常规的 PSA 和 VPSA 过程使用旋转型正排量式鼓风机进行吸附剂床中的气体加压或抽空。这些常规的旋转叶片鼓风机通常具有比离心式压缩机更低的效率和更高的维护费用，但是它们确实很好地适应了变压循环的振荡性质。图 1 示出 VPSA 循环的供给鼓风机压力需求的示例性压力变化曲线，图 2 示出 VPSA 循环的真空鼓风机压力需求的示例性压力变化曲线。旋转叶片鼓风机的涉及吸附过程的一个有吸引力的特征是功率消耗与系统压力需求成比例。鼓风机的理论功率消耗与系统压差成正比 (即，在功率消耗与压力之间有线性关系)。这种对系统压力需求的线性功率响应，已使得旋转叶片鼓风机成为 PSA 和 VPSA 工业的备选压缩设备。然而，旋转叶片鼓风机会在系统中形成强烈的压力脉动。已知如果没有适当的缓减，来自旋转叶片鼓风机的压力脉动会引起对下游工艺设备的严重结构损坏。虽然脉动缓冲容器通常与旋转叶片鼓风机一起使用，但是它们并没有完全消除失谐 (mismatch)，并且在系统中一直存在着相当高的压力脉动水平。

[0006] 在过去,已经为 PSA 和 VPSA 过程考虑了带有和不带有进口导叶 (IGV) 且带有变频驱动器 (VFD) 的定速离心式压缩机,这是因为与常规旋转叶片鼓风机相比它们有更高的效率。图 3 示出典型的常规离心式压缩机系统布置。通常需要带有润滑油系统 11 的变速箱 10 来把感应电动机 (IM) 12 的低速转换成离心式压缩机 1 的高速,为了获得高效率,离心式压缩机需要以高速运转。为了在高度动态的变压循环中最有效地使用离心式压缩机,必须采用 IGV、变速控制器或者这两者的组合。当 PSA 或 VPSA 循环压力偏离了定速离心式压缩机的设计压力条件时,级效率显著降低,尤其是在接近 1 的压力比下(壅塞)运行时。这导致在 PSA 或 VPSA 循环期间平均功率消耗增大以及压缩机总平均效率降低。然而,通过连续改变压缩机转速来匹配加压和抽空吸附剂床这两者的压头需求,理论上讲压缩机可以在从 100% 的设计转速到显著较低的转速下以它们的最高效率运行。现在功率消耗变得很小,因此相对于旋转叶片鼓风机而言,平均功率经济性和总循环效率得到显著改善。

[0007] 但是,在过去不能成功应用这个技术。常规的带有和不带有 IGV 的定速离心式压缩机的使用并不理想,这是因为它们的有限工作范围。常规的变速离心式压缩机在使用 IGV 的情况下可具有改善的工作范围和改善的节能并且流量减小,但是不能迅速适应 PSA 或 VPSA 循环的瞬变流动状况(这归因于齿轮的大惯量和大的低速运转的 IM 转子)。

[0008] 在现有技术中,已经为 PSA 和 VPSA 过程考虑了带有和不带有 IGV 且带有 VFD 的定速离心式压缩机。

[0009] 2005 年 4 月 5 日~7 日的 PWR2005 ASME Power 会议论文集的 A. Abdelwahab 的《Design of A Moderate Speed-High Capacity Centrifugal Compressor with Application to PSA And VPSA Air Separation Processes(应用于 PSA 和 VPSA 空气分离过程的中速-大容量离心式压缩机的设计)》论述了使用带有进口导叶的中速直接联接的离心式压缩机的 VPSA 循环的基本原理。

[0010] 近年来,PSA 和 VPSA 过程已经出现了若干进步。这些进步中的一些包括:(a) 顶吸附压力与底解吸压力的比值显著减小、和 (b) 循环时间的减少(通常小于一分钟)导致吸附剂存量的减少。影响 PSA 或 VPSA 工艺的总能量需求的重要因素是吸附压力与解吸压力的比值。供给空气压缩装置提供的床吸附期间的输送压力、以及抽空装置提供的解吸期间的吸气压力随着循环进程而持续变化。为了为例如此的循环实现尽可能最低的总功率消耗,希望供给压缩和抽空装置在大范围的压力比下以最高效率工作。

发明内容

[0011] 本发明涉及高速永磁变速电动机在 PSA 或 VPSA 系统中的应用。通过允许系统装置以等于或超过当前 PSA 和 VPSA 系统和过程的循环时间(例如约 30~35 秒)的速率加速或减速,包含这种电动机的设计以最优效率运行。本发明更具体地说涉及气体分离方法和系统,例如 PSA 或 VPSA 系统,该系统具有其中容纳至少一个吸附剂床的至少一个容器。吸附剂床包括至少一种吸附剂材料。在一些实施例中,至少一个吸附剂床由至少一个供给压缩机循环地加压并且有时由至少一个真空压缩机进行抽空,所述至少一个供给压缩机或所述至少一个真空压缩机中的至少一个是由为变速运行而设计的相关联的高速永磁 (PM) 电动机所驱动的离心式压缩机。在这样的实施例中,不是离心式压缩机的压缩机可以由感应电动机 (IM) 驱动的旋转叶片鼓风机。在本发明的一些实施例中,所述至少一个吸附剂床

由被相关联的高速永磁变速电动机驱动的至少一个供给离心式压缩机循环地加压,并且由被相关联的高速永磁变速电动机驱动的至少一个真空离心式压缩机进行抽空。更具体地并且根据本发明,离心式供给压缩机和/或离心式真空压缩机由用于变速运行的直驱式高速永磁(PM)电动机所驱动,使得压缩机与高速永磁电动机的组合可以以当前PSA或VPSA系统和过程的短循环时间(例如,大约30秒)所要求的快速速率从低速加速到高速以及从高速减速到低速。

[0012] 根据本发明的变速控制高速永磁电动机的使用,使得与常规感应电动机/变速箱系统相比在它们于PSA或VPSA过程中使离心式压缩机加速和减速的能力上有一个数量级的提高。使用根据本发明的高速永磁电动机允许消除对变速箱的需求,因此同样允许消除对润滑油系统的需求。因此可以将离心式压缩机支撑在无油轴承上。此外,在一些实施例中,由于消除了齿轮和轴承油摩擦损失、润滑油系统损失,并且提高了超前/滞后功率的能力,本发明所提出的驱动系统的效率预期会高出7个以上百分点。在一个假设的实例中,在对由感应电动机-变速箱装置与高速永磁变速电动机驱动的具有1250马力(HP)驱动系统的16"压缩机叶轮进行比较评估时,得出以下结论:(1)高速永磁(PM)电动机的转子极质量惯性矩约为感应电动机(IM)的1/6;(2)高速永磁电动机的转子惯量比感应电动机加上其相关联的变速箱(GB)系统的转子惯量低一个数量级以上;(3)永磁电动机和压缩机系统可以在大约2秒钟内从40%转速加速到全设计转速,然而感应电动机、变速箱和压缩机系统花费多一个数量级的时间(约31秒,这归因于系统之间显著的惯量差异);以及(4)关于减速,永磁电动机和压缩机系统可以在约2秒内从全设计转速减至40%转速。在这种情况下,预期最大制动功率与额定电动机功率相同。然而,如果需要更快地减速,那么可以通过如下文所述的动态制动来增加最大制动功率。通常传统感应电动机系统不能实现当前PSA或VPSA系统的循环时间所需的快速减速,这归因于齿轮的大惯量和大的低速运转的感应电动机转子。

[0013] 在本发明的优选实施例中,如本文中所论述,压缩机沿着最佳效率线运行。最佳效率线是在压缩机性能图上画出的线。如本文中所论述,压缩机性能图(各种转速下的压力比与质量流量/质量流量_{设计}的关系曲线)由针对压缩机特定进口温度在各种转速下的等熵功系数而生成。最佳效率线代表与在不同的转速和工艺条件(压缩机进口压力、压缩机排出压力和压缩机进口温度)下压缩机工作曲线的全部最高效率点相对应的点的轨迹。通过沿着最佳效率线工作,就功率消耗而言,压缩机可以以其最大效率模式工作。性能图还可以采用由等熵功系数生成的查找表或参考表的形式。性能图和所得到的最佳效率线可以存储在可编程逻辑控制器(PLC)中并且与PSA和VPSA系统集成。

附图说明

[0014] 为了对本发明及其优点有更完整的理解,应当参考下面的具体实施方式部分并且结合附图,其中:

[0015] 图1是VPSA循环的供给鼓风机压力需求的示例性压力变化曲线的图示。

[0016] 图2是VPSA循环的真空鼓风机压力需求的示例性压力变化曲线的图示。

[0017] 图3是示出带有变速箱和感应电动机的离心式压缩机的示意图。

[0018] 图4是示出根据本发明的带有直驱高速永磁变速电动机的离心式压缩机的示意

图。

[0019] 图 5 是示出根据本发明一个实施例的带有直驱高速永磁变速电动机和离心式压缩机的 VPSA 系统的示意图。

[0020] 图 6A 是在不同压缩机马赫数下示例性压缩机等熵功系数与流量系数比 ($\Phi / \Phi_{\text{设计}}$) 的关系曲线的图示。

[0021] 图 6B 是通过对比图 6A 中所使用压缩机的压缩机性能进行实验测量而获得的、在不同压缩机马赫数下示例性压缩机效率 (η) 与流量系数比 ($\Phi / \Phi_{\text{设计}}$) 的关系曲线的图示。

[0022] 图 7 是对应于特定进口温度的示例性压缩机性能图 (各种转速下的压力比 (PR) 与质量流量 / 质量流量_{设计}的关系曲线) 的图示。

[0023] 图 8 是在典型的 VPSA 循环上的示例性理论的 - 理想的供给压缩机响应的图示。

[0024] 图 9 是在典型的 VPSA 循环上的示例性假设的 - 真实的供给压缩机响应的图示。

[0025] 图 10 是在最低转速线处使用吸气节流阀的示例性压缩机性能图的图示。

具体实施方式

[0026] 如上所述,本发明涉及高速永磁电动机在 PSA 或 VPSA 系统中的使用。本文所使用的关于永磁电动机的“高速”,是指永磁电动机能够在大于 3600 转 / 分钟的转速下工作。这种高速电动机的实际设计和转速能够根据要实施该永磁电动机所在的系统和过程而改变。本发明尤其涉及气体分离过程及系统,例如 PSA 或 VPSA 系统,该系统具有其中包含至少一个吸附剂床的至少一个容器。该吸附剂床包括至少一种吸附材料。在一些实施例中,所述至少一个吸附剂床由至少一个供给压缩机循环地加压,有时由至少一个真空压缩机进行抽空,所述至少一个供给压缩机或所述至少一个真空压缩机中的至少一个是由至少一个相关联的高速永磁 (PM) 变速电动机所驱动的离心式压缩机。在这样的实施例中,并非离心式压缩机的压缩机可以由感应电动机 (IM) 驱动的旋转叶片鼓风机。在本发明的一些实施例中,所述至少一个吸附剂床由相关联的高速永磁电动机所驱动的至少一个供给离心式压缩机循环地加压,并且由相关联的高速永磁电动机所驱动的至少一个真空离心式压缩机进行抽空。更具体地,根据本发明,离心式供给压缩机和 / 或离心式真空压缩机由为变速工作而设计的相关联的直驱高速永磁 (PM) 电动机所驱动,使得压缩机与永磁电动机的组合可以以当前 PSA 或 VPSA 系统和过程的短循环时间 (例如,大约 30 ~ 35 秒) 所要求的快速速率,从低速加速到高速以及从高速减速到低速。因此本发明的装置使得压缩机能够响应于当前 PSA 和 VPSA 系统和过程的短循环时间特性。

[0027] 亦如上文所论述,使用本发明的高速永磁电动机使得与常规感应电动机 / 变速箱系统相比在它们于 PSA 或 VPSA 过程中使离心式压缩机加速和减速的能力上有一个数量级的提高。使用本发明的永磁电动机可消除对变速箱的需求,因而同样可消除对润滑油系统的需求。因此可以将离心式压缩机支撑在无油轴承上。

[0028] 本发明可以应用于气体分离过程和系统中,例如把气体 (如空气) 分离成氧气和氮气的 PSA 或 VPSA 过程,但不应被解释为限制性的。可以受益于使用本发明的压缩机 - 永磁电动机组合的其它气体分离过程,包括但不限于涉及气体 (例如 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 H_2 或氦气) 回收的 PSA 和 VPSA 分离。

[0029] 图 4 中示出适于根据本发明使用的示例性压缩机 - 直驱高速永磁变速电动机装

置。该装置能够允许将离心式压缩机级用到 PSA 或 VPSA 循环中。更具体地,图 4 示出带有进口 2 和出口 3 的离心式压缩机 1,进口 2 和出口 3 通向 PSA 或 VPSA 系统或自该系统中导出。如图 4 中进一步所示,离心式压缩机 1 附接到为变速运行而设计的高速永磁 (PM) 电动机 4 上,该电动机经由管路 7 电连接到变频驱动器 5 (VFD)。图 4 中的参考线 6 代表图 3 中的滑轨区域,主要因为除去了润滑油系统以及使用了尺寸小于感应电动机的永磁电动机所以不再需要该滑轨区域。

[0030] 电动机 4 可以是为变速运行而设计的稀土高速永磁电动机或其它高速永磁电动机。这类电动机是市场上可买到的,具有高达约 70,000 转 / 分钟的工作转速。用于本发明的电动机的尺寸将视工艺类型和系统要求而变化。离心机的类型不应解释为限制性的。离心式压缩机 1 可以从能够在系统和工艺所需条件下运行的任何离心式压缩机中选择。变频驱动器 (VFD) 是已知的,并且它们是通过控制提供给电动机的电力频率来控制交流 (AC) 电动机转速的系统。

[0031] 使用高速永磁变速电动机来驱动离心式压缩机,与常规感应电动机 / 变速箱系统相比,可在其于 PSA 或 VPSA 过程中使离心式压缩机加速和减速的能力上提供一个数量级的提高。此外,由于消除了齿轮和轴承油摩擦损失、润滑油系统损失,并且提高了超前 / 滞后功率的能力,预期本发明的驱动系统的效率高 7 个以上的百分点。在一个假设的例子中,在对由感应电动机 - 变速箱装置与高速永磁变速电动机驱动时的具有 1250HP 驱动系统的 16" 压缩机叶轮进行比较评估时,得出以下结论:(1) 永磁 (PM) 电动机的转子极质量惯性矩约为感应电动机 (IM) 的 1/6 ;(2) 高速永磁电动机的转子惯量比感应电动机加上其相关联的变速箱 (GB) 系统的转子惯量低一个数量级以上 ;(3) 永磁电动机和压缩机系统可以在约 2 秒钟内从 40% 转度加速到全设计转速,然而感应电动机、变速箱和压缩机系统要花费多一个数量级的时间 (大约 31 秒,这归因于系统之间显著的惯量差异);以及 (4) 在减速方面,永磁电动机和压缩机系统可以在 2 秒钟内从全设计转速减至 40% 的转速。在这种情况下,最大制动功率预期与额定电动机功率相同。

[0032] 如果需要更快地减速,那么可以在需要快速停止的应用中用变频驱动器来获得动态制动 (把能量供应给制动电阻) 或者再生制动 (把能量回馈到电力网中)。对永磁电动机系统可行的这种动态制动或再生制动的构思对于感应电动机系统则不可行,这归因于齿轮的大惯量以及大的低速运行的感应电动机转子。因此,当使用带有变频驱动器和感应电动机的齿轮传动离心式压缩机时,不能实现当前 PSA 和 VPSA 系统的短循环时间所需要的快速减速。

[0033] 现在参见图 5,图中示出根据本发明的一个实施例的 VPSA 系统。图 5 中所示的系统 20 包括供给压缩机 22、吸附剂床单元 40、和单级真空压缩机 50,用以有效地产生以较低选择性被吸附的气体 (例如,来自空气中的氧)。供给压缩机 22 和真空压缩机 50 中的至少一个是由高速永磁电动机所直接驱动的离心式压缩机。在优选实施例中,供给压缩机 22 和真空压缩机 50 都是由如本文所述的高速永磁电动机直接驱动。然而,应当认识到,在一些实施例中,供给压缩机 22 或真空压缩机 50 中只有一个可以由高速永磁电动机直接驱动。本领域技术人员亦应当认识到,对于 PSA 系统来说,真空鼓风机或压缩机并不像在 VPSA 系统中那样被使用。

[0034] 再次参见图 5,供给压缩机 22 包括单级离心式压缩机,该离心式压缩机由高速永

磁电动机 29 直接驱动（即，无变速箱），具有用于吸入气体（如空气）的进口 24，进口 24 引导加压气流经过供给空气后冷却器 27 然后经过排气歧管 26 流到相应的平行进口管路 28、30。

[0035] 相应的第一和第二加压控制阀 32、34 被铅封在（plumbed）相应管路的远端，以选择性地对吸附剂床单元 40 的相应部分进行加压。放气阀 36 连接到歧管 26 的中部，以选择性地使气流绕离床单元。通过可编程逻辑控制器（PLC）31 根据与本发明方法的工艺步骤相对应的定时（timing）将这些阀排序。

[0036] 再次参见图 5，吸附剂床单元 40 包括双吸附剂床系统，具有相应底部 42、44 的床 A 和床 B 被布置在相应的第一和第二加压控制阀 32、34 的下游，呈交替平行布置。相应的顶部 43、45 提供用于连接产品供给机构 60 的方便接口，机构 60 包括单个产品稳压罐（surge tank）66。如上所述，根据本发明的替代系统可使用一个吸附剂床或两个以上的吸附剂床。

[0037] 每个吸附剂床都被容纳在容器中，该容器优选为径流式类型的。径流式容器是已知的，并且包括气流的具有整体非对称截面的扩大的供给端。径流式容器适应大的气流范围，并且在气流方向上仅提供穿过吸附剂床的低压降（ D_p ）。径流式容器还为吸附剂床提供更均匀的流量分布，并且通常为受约束的吸附剂床提供扩大的进口面积。然而，应当注意的是，本发明中可以使用替代的流动容器，例如轴向床或水平床。

[0038] 真空压缩机 50 被铅封到相应的第一减压控制阀 52 和第二减压控制阀 54，这些阀连接到真空歧管 56。这些阀以平行相对的关系被铅封到第一加压控制阀 32 和第二加压控制阀 34。与加压阀相似，减压阀和放气阀也由 PLC31 排序。歧管终止于单级离心式真空压缩机 50，压缩机 50 由为变速运行而设计的高速永磁电动机 51 所直接驱动，用于在根据本发明方法的预定循环步骤期间抽空相应的床 A 和床 B。

[0039] 正如可以从图 5 中认识到的， P_1 可以保持恒定（例如，在环境状态下），而 P_2 将会响应于吸附剂床中的状态（在加压、减压期间以及在产品制造期间， P_2 可以变化或保持恒定）。当 P_2 变化时， P_2/P_1 的比值同样将发生变化。类似地， P_4 可以保持恒定（例如，在环境状态下），而 P_3 将会响应于吸附剂床中的状态（在加压、减压期间以及在产品制造步骤期间， P_3 可以变化或保持不变）。当 P_3 变化时， P_4/P_3 的比值同样会发生变化。因此，供给压缩机与真空压缩机的压力比可以基于吸附剂床中的状态而变化或者保持恒定。给 PLC31 的有关压力比的反馈，可以允许压缩机运行转速进行适当调整。因此，通过连续改变压缩机转速来匹配加压和抽空吸附剂床的压头需求（head requirement，即压力比（PR），其由于加压和抽空吸附剂床而变化），压缩机可以在从 100% 设计转速到显著较低的转速下以接近它们的最高效率、优选地以它们的最高效率运行。这可以利用存储（即硬编码）在 PLC 中的信息、计算和性能图来实现，PLC 然后发送信号给变频驱动器和相关联的永磁电动机。将会认识到，在图 5 中所示的用于制氧的示例性 VPSA 系统中， P_4 和 P_1 能够处于或接近环境状态。

[0040] 继续参见图 5，产品供应机构 60 包括相应的第一产品出口阀 62 和第二产品出口阀 64，它们布置在床 A 和 B 的相应顶部 43、45 的顶处，用以引导来自每个床的产品（例如氧气）流来吹扫另一个床、均衡另一个床中的压力、或者流到稳压罐 66 进行储存。介于稳压罐 66 与出口阀 62、64 之间的隔离阀 68 按照来自控制器的顺序指令与出口阀 62、64 协作，从而实现吹扫和 / 或均衡过程。

[0041] Smolarek 等人的美国专利 No. 6, 010, 555 中公开了对图 5 中所示 VPSA 系统的详细

描述,该专利的全部内容通过引用并入本文。然而,在本发明中,美国专利 No. 6,010,555 中所描述的旋转叶片鼓风机装置中的至少一个或这两个被由高速永磁变速电动机直接驱动的更高效的离心机所代替。优选地,美国专利 No. 6,010,555 所描述的两个旋转叶片鼓风机都被更高效的离心机所代替,每个离心机由高速永磁变速电动机直接驱动。尽管美国专利 No. 6,010,555 所描述的工艺条件可以保持类似于本发明,但是离心式压缩机的运行模式是非常不同的并在下文中加以解释。

[0042] 图 5 中所示装置应当是示例性的,并且根据本发明可以实现各种其它装置(例如,一个容器或者两个以上的容器)。例如并且同时不应当解释为限制性的,可以使用本发明的压缩机-永磁电动机装置的其它系统包括例如在 Smolarek 等人的美国专利 No. 5,656,068、Baksh 等人的美国专利申请公开 No. 2007/0095208、和 Baksh 等人的美国专利申请公开 No. 2008/0006151 中所描述的那些。根据本发明,还可以使用其它替代的 PSA 或 VPSA 装置。

[0043] 现在参见图 6A,图中示出在不同机器马赫数下理想气体的示例性单级离心式压缩机的等熵功系数与流量系数比($\Phi/\Phi_{\text{设计}}$)的关系曲线。等熵功系数 $Q_{\text{等熵}}$ 是无量纲参数,并且可以按下式进行计算:

$$[0044] \quad Q_{\text{等熵}} = \frac{T_i C_p \left(PR^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{U_{\text{尖端}}^2} \quad (\text{方程式 1})$$

[0045] 式中, T_i 是进口温度, C_p 是定压气体比热, γ 等于 C_p/C_v ,其中 C_v 是定容气体比热,PR 是级压力比, $U_{\text{尖端}}$ 是按如下定义的压缩机叶轮片尖端速度:

$$[0046] \quad U_{\text{尖端}} = \frac{\pi D N}{60} \quad (\text{方程式 2})$$

[0047] 式中,N 是叶轮片的转速,单位为转/分钟,D 是叶轮片的直径。机器马赫数 M 是无量纲参数且其定义为:

$$[0048] \quad M = \frac{U_{\text{尖端}}}{\sqrt{\gamma R T_i}} \quad (\text{方程式 3})$$

[0049] 式中,R 是理想气体定律常数。

[0050] 流量系数 Φ 是无量纲参数,其定义为:

$$[0051] \quad \phi = \frac{V_s}{2\pi N D^3} \quad (\text{方程式 4})$$

[0052] 式中, V_s 是压缩机吸气体积流率,其它所有术语均按上文定义。在方程式 4 中使用压缩机设计信息来确定 $\Phi_{\text{设计}}$ 。

[0053] 通过对压缩机性能的实验测量,而获得了图 6A 的在不同转速下压缩机等熵功系数($Q_{\text{等熵}}$)与流量系数比($\Phi/\Phi_{\text{设计}}$)的关系曲线、和图 6B 的在不同转速下效率(η)与流量系数比($\Phi/\Phi_{\text{设计}}$)的关系曲线。应当理解的是,可以使用工业标准来确定效率。为了说明如何使用这些曲线来使压缩机沿着其最佳效率线工作,首先从各种转速下针对压缩机特定进口温度的等熵功系数生成压缩机性能图(各种转速下的压力比与质量流量/质量流量设计的关系曲线)。

[0054] 接着,利用来自图 6B 的信息在压缩机性能图上建立最佳效率线。它代表着与在不同转速和工艺条件下压缩机工作曲线的全部最高效率点相对应的点的轨迹。通过沿着这条

线工作,就功率消耗而言,压缩机以其最大效率模式工作。这类性能图,连同它们的所得到的最佳效率线,能够在 PSA 或 VPSA 系统的 PLC 中以曲线或参考表的形式进行编程(即,硬编码)。

[0055] 图 7 是示例性压缩机性能图的图示,其对应于特定进口温度(例如 70° F)。如图 7 中所示的性能图族将针对压缩机在其进口处可能经历的温度而生成(基于供给压缩机的可变环境状态和真空压缩机的可变吸附剂床温度)。因此可以针对不同的进口温度生成类似的性能图。通过监测压缩机的进口压力和温度以及排出压力,适当的性能图可用于确定沿着压缩机最佳效率线运行所必需的压缩机转速。然而,存在远离性能图的最佳效率线的区域,在该区域中其效率显著低于旋转叶片鼓风机。因此,为了相对于旋转叶片鼓风机实现较高的效率,重要的是使离心式压缩机一直在其最佳效率线上或其附近运行。

[0056] 理论上讲,离心式压缩机的效率可以比旋转叶片鼓风机的效率高 15 个点,但是这只是在把机器转速控制成基本满足(即,处于或接近)压头需求的情况下(即,遵循 PSA 或 VPSA 循环,并且在任何给定时间点都在其最佳效率下运转)。因此,根据本发明,变速运行的高速永磁电动机与离心式压缩机的共同使用,提供了这样的系统和过程,即该系统和过程不仅能够响应于当前 PSA 和 VPSA 系统和过程的短循环时间;而且这样的装置还使得过程效率与现有技术的旋转叶片鼓风机装置相比有显著提高。

[0057] 下面的实例 1 和实例 2 是假设的例子,用于说明本发明。

[0058] 实例 1

[0059] 图 8 是在典型的 VPSA 循环上的示例性理想供给压缩机响应的图示。例如,再次参见图 5 和图 8,在 VPSA 循环中的任意时刻,温度 T_1 、压力 P_1 和 P_2 、温度 T_2 、以及压力 P_3 和 P_4 用典型的压力传感器或传送器进行测定,并且记录在设备的 PLC31 中。具体地并且为了说明的目的,着眼于在升压供给步骤期间的供给压缩机 22(图 8 中的点 A),控制系统用 P_2 除以 P_1 而计算出跨供给机的压力比(PR)。利用该计算出的压力比和进口温度 T_1 ,控制系统 PLC31 然后利用针对图 7 中的点 A 处所示的 T_1 而生成的所得到的最佳效率线和压缩机性能图,来确定电动机/压缩机的运行速度(在这种情况下,电动机/压缩机的运行速度大约为 67%的全速)。这个信息然后被传送给变频驱动器 33,以指示压缩机 22 和电动机 29 以该转速运行。就离心式真空压缩机 50 和永磁电动机 51 而论,同样地完成类似的确定和传送。

[0060] 实例 2

[0061] 在具有产品制造步骤的恒压供给期间(例如,见图 8 中的点 B),进口温度 T_1 以及用 P_2 除以 P_1 而获得的跨供给机的更新压力比作为输入,以便利用由在图 7 中的点 B 处所示的更新的 T_1 而生成的最佳效率线以及压缩机性能图来确定电动机/压缩机的运行转速(100%全速)。然后这个信息被传送给变频驱动器 33,以指示压缩机 22 和电动机 29 以该转速运行。就离心式真空压缩机 50 和永磁电动机 51 而论,同样地完成类似的确定和传送。

[0062] 一般说来,跨压缩机的压力比会响应于系统压力变化而波动(例如,在吸附剂床的加压和抽空期间发生)。压缩机的转速连续地从 100%的设计转速变化到显著较低的转速(例如,对于气动状态来说,40%是典型的低端),使得对于任何给定的压力比和进口温度,压缩机都是在其最佳效率点处运行。所得到的压缩机流率是由最佳效率曲线支配的响应。可以把为各种进口温度而生成的一系列通过实验确定的最佳效率线编程(即,硬编码)入 PLC31 中。亦如上所述,这样的信息亦可以以参考表的形式编程入 PLC31 中。

[0063] 在设备运行期间, PLC31 连续地监测进口温度, 计算跨压缩机的压力比, 从最佳效率线中选择对应于进口温度的适当运行转速, 最后发送信号给变频驱动器 33, 该信号传送给其相应的永磁电动机 29 和供给离心式压缩机 22。在典型的整个 VPSA 循环期间的理论 - 理想和假设 - 真实 (即, 实际上可实现的) 供给机转速和压力比分别示于图 8 和图 9。注意到, 图 9 是针对假设真实过程。同时, PLC31 可以使用进口温度 T_2 以及压力 P_3 和 P_4 来利用编程入 PLC31 中的其自身的最佳效率线或参考表来确定最优真空压缩机转速。与供给机一样, PLC31 可以发送另外的信号给变频驱动器 53, 变频驱动器 53 然后可以传送给其相应的永磁电动机 51 和真空离心式压缩机 50。

[0064] 通常, 在很低的转速下, 离心式压缩机的喘振裕度极大地减小。为了避免运行问题, 压缩机的最低转速因此优选地保持在合理百分数的设计转速下, 在此具体情况下为 40% 的设计转速。一旦压缩机达到此转速, 电动机转速就固定, 并且压缩机会沿着其特定的转速特性曲线 (例如, 如图 7 中所示在 1.0 与 1.1 的压力比之间) 运行。

[0065] 由为变速运行而设计的高速永磁电动机直接驱动的压缩机消除了压缩机 - 电动机系统中的大惯量 (例如, 齿轮和大的低速运转的感应电动机转子) 分量, 并且允许压缩机对 PSA 或 VPSA 循环要求的充分响应 (例如, 供给压缩机可以响应如图 8 和 / 或图 9 中所示出的曲线)。更具体地, 本发明的装置从而允许压缩机响应于当前 PSA 和 VPSA 系统及过程的短循环时间特性。对于给定的马力, 当高速永磁电动机和感应电动机中的任一个用来驱动离心式压缩机时, 高速永磁电动机的转动惯量大致为可比感应电动机的约 1/6。

[0066] 继续参见图 9, 电动机的加速速率和减速速率 (即, 在 100% 的全速与 40% 的全速之间) 分别为从点 C 到 D 的大约 11 秒和从点 D 到点 E 的大约 6 秒。如上所述, 机器 (例如由感应电动机驱动的离心式压缩机) 不能以 PSA 或 VPSA 系统的短循环时间所要求的快速速率来加速或减速 (即, 这类机器不能快速适应循环的瞬变流动状况 (这归因于齿轮的大惯量和大的低速运转的感应电动机转子))。相反, 根据本发明, 使用高速永磁电动机来驱动离心式压缩机, 允许这类机器响应于当前系统的短循环时间和循环时间。

[0067] 实施本发明的替代方法是将吸气节流阀与高速变速电动机结合使用。这样的吸气节流阀可以应用在 PSA 或 VPSA 系统中, 例如应用在供给压缩机与进口之间 (例如, 在图 5 中, 供给压缩机 22 的上游与进口 24 的下游)。吸气节流阀可以在最低运行转速下 (即, 40% 的全速, 出于与上述相同的原因) 使用, 以进一步降低压缩机的功率消耗。这是通过在 40% 的全速下运行时降低压缩机的进口密度因而降低质量流量来实现的。

[0068] 图 10 是在最低转速线上使用吸气节流阀的示例性压缩机性能图的图示。例如, 如图 10 中的点 F 处所示, 一旦达到约 1.1 的压力比, 吸气节流阀就会开始关闭, 关闭量为 PLC31 中的预编程量, 从而得到改进的调低工作范围, 其具有比没有吸气节流阀的情况更低的功率消耗。

[0069] 本发明的另一实施例包括一系统, 该系统将离心式压缩机上的进口导叶 (IGV) 与高速电动机结合使用。可以在期望进行离心式压缩机的容量控制的时候, 使用进口导叶。它们在机器内部。IGV 可以在定速下使用或以变化的压缩机转速使用。

[0070] 虽然已经参照某些优选实施例详细描述了本发明, 但是本领域技术人员会认识到, 在权利要求的精神和范围内还有其它实施例。

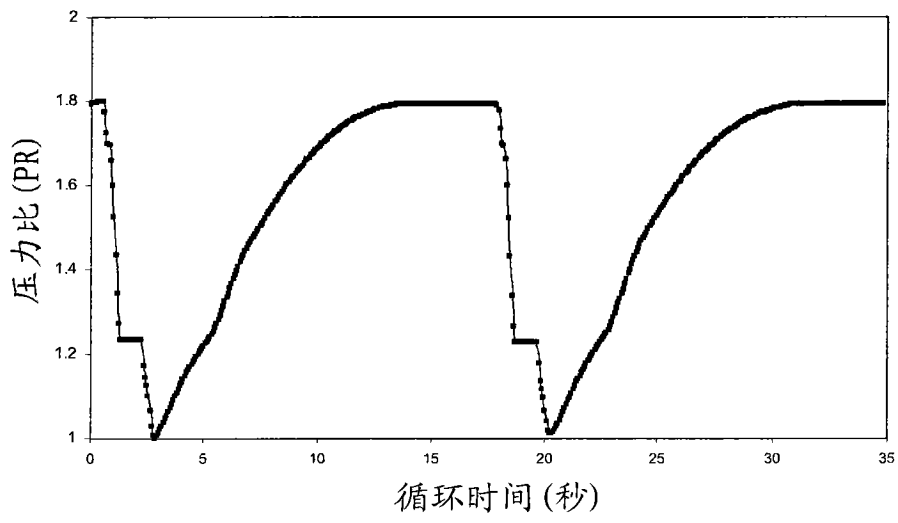


图 1

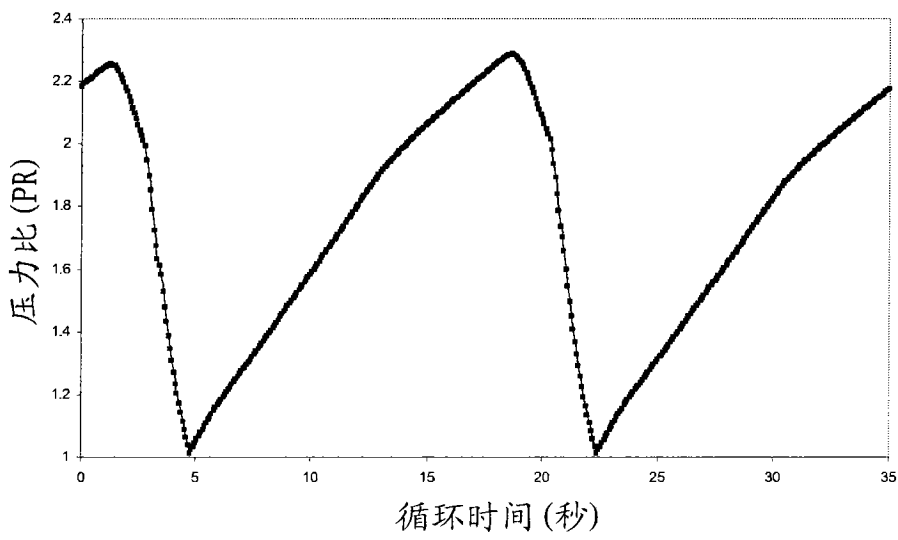


图 2

现有技术

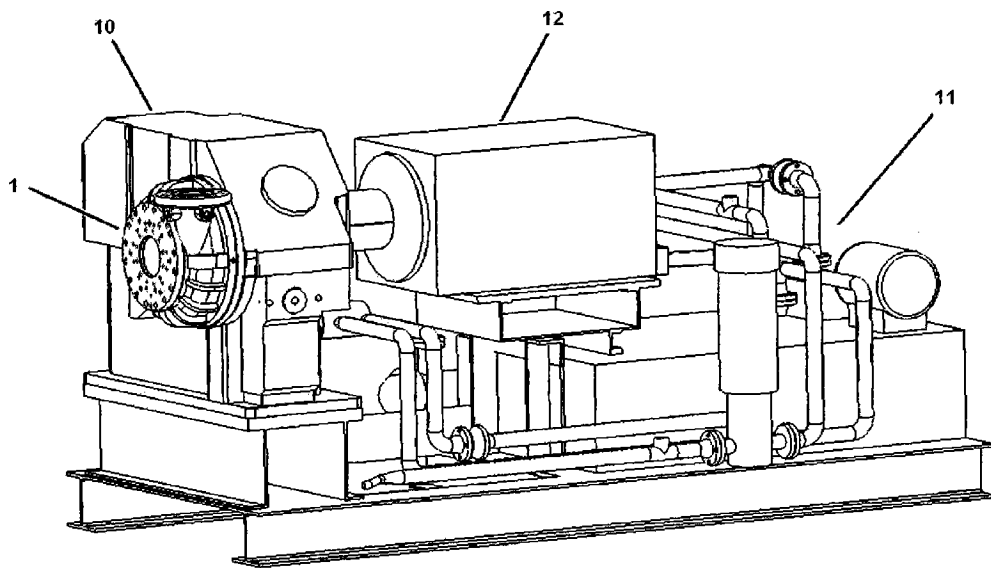


图 3

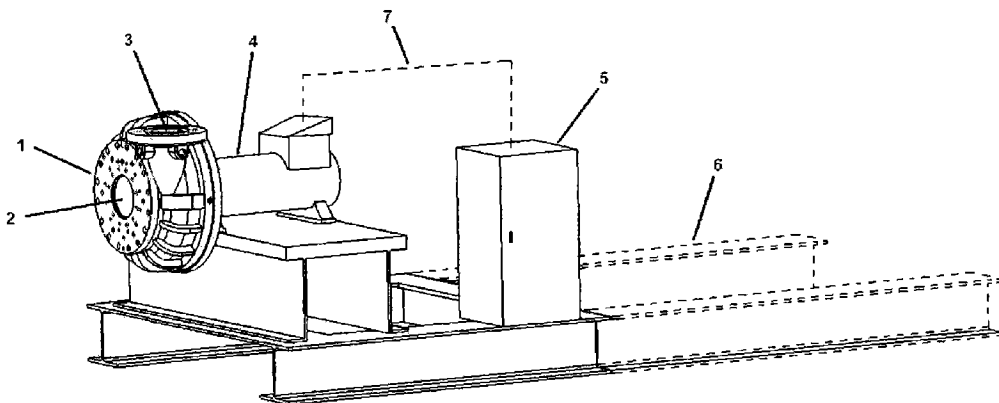


图 4

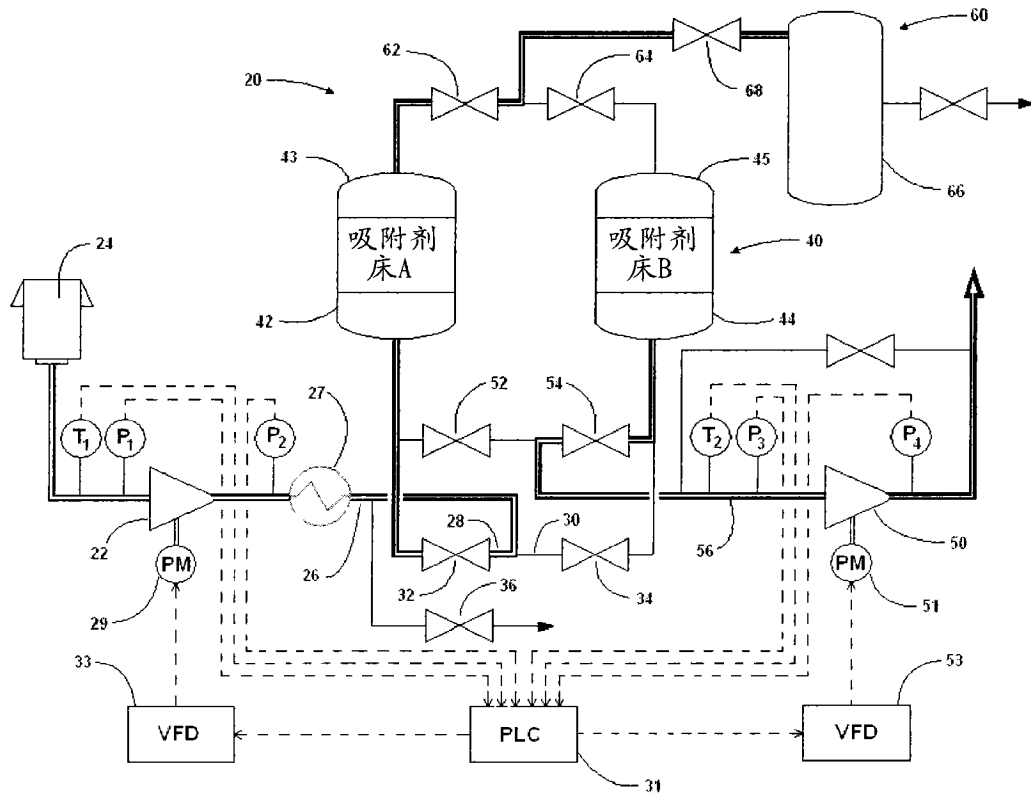


图 5

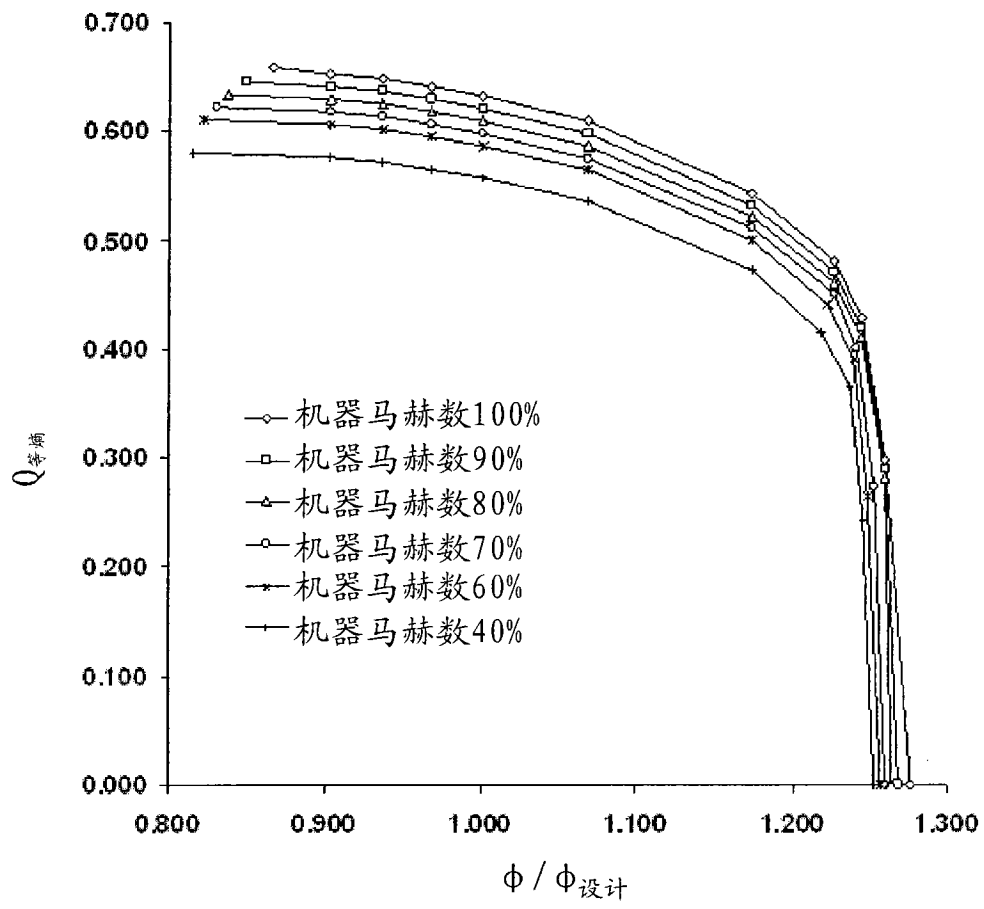


图 6A

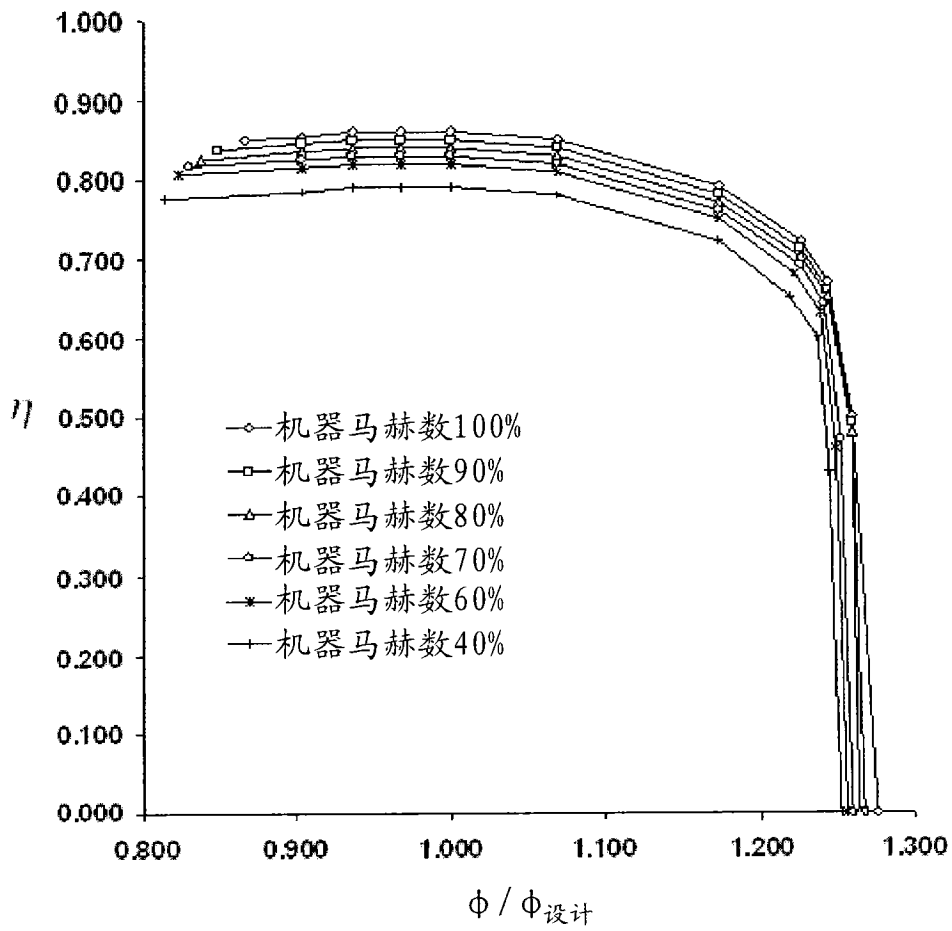


图 6B

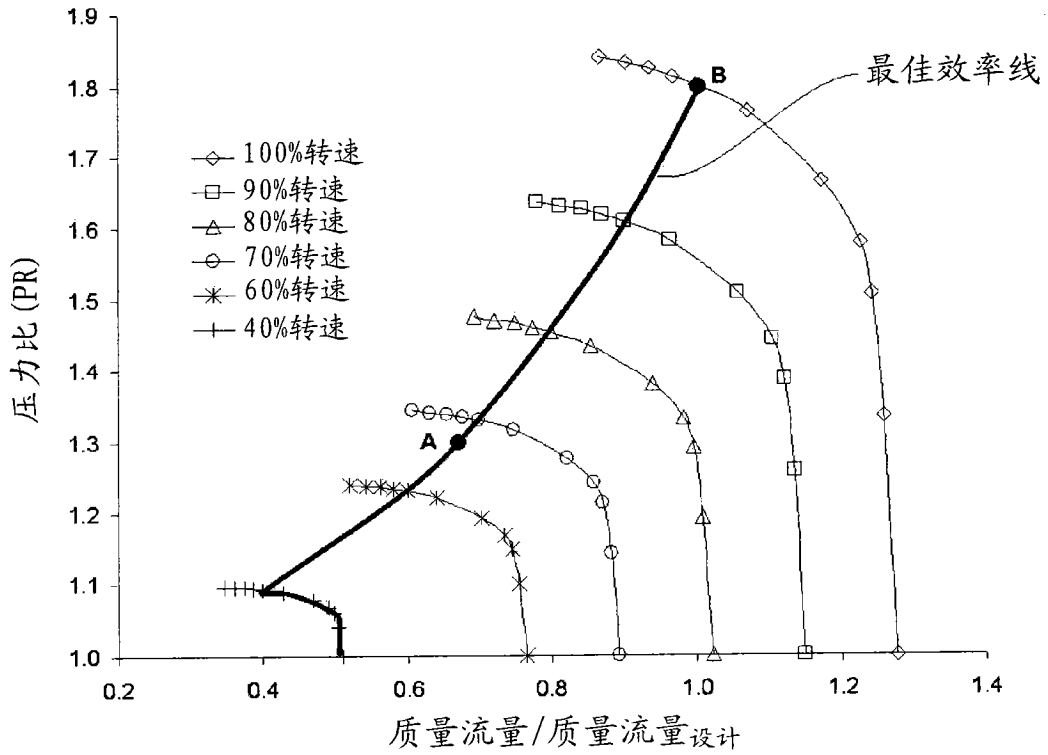


图 7

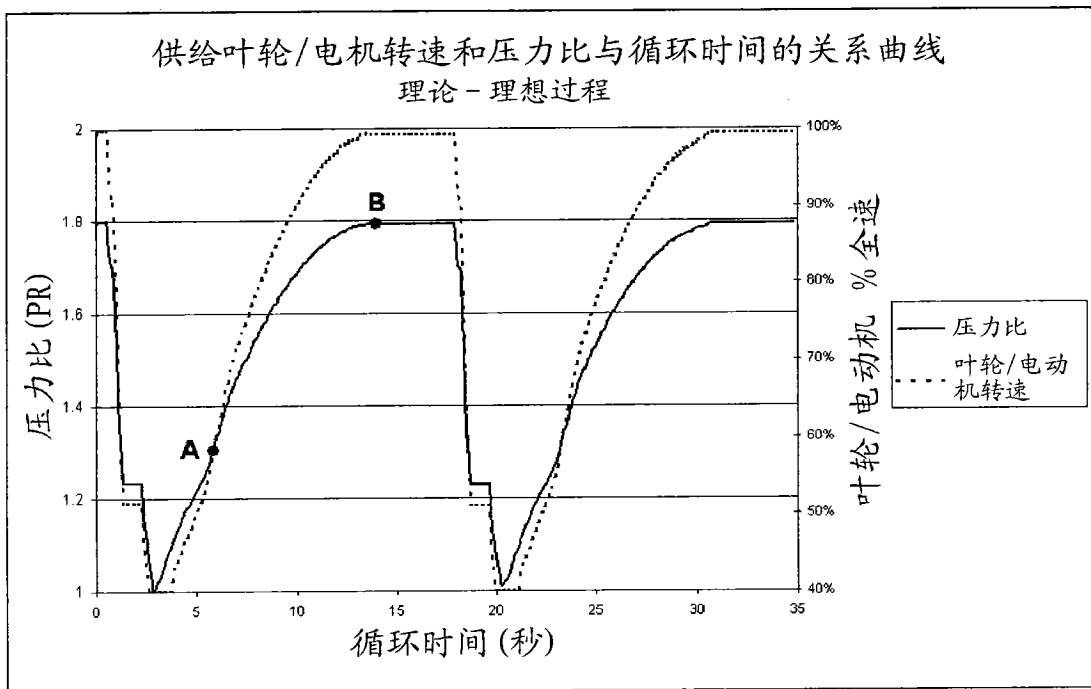


图 8

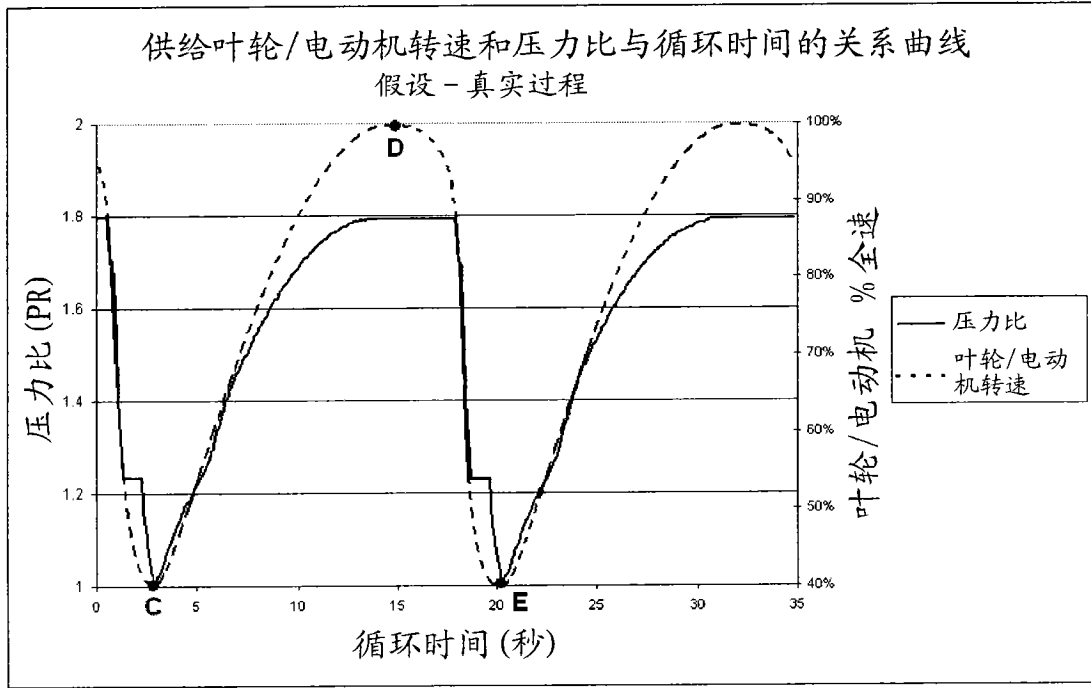


图 9

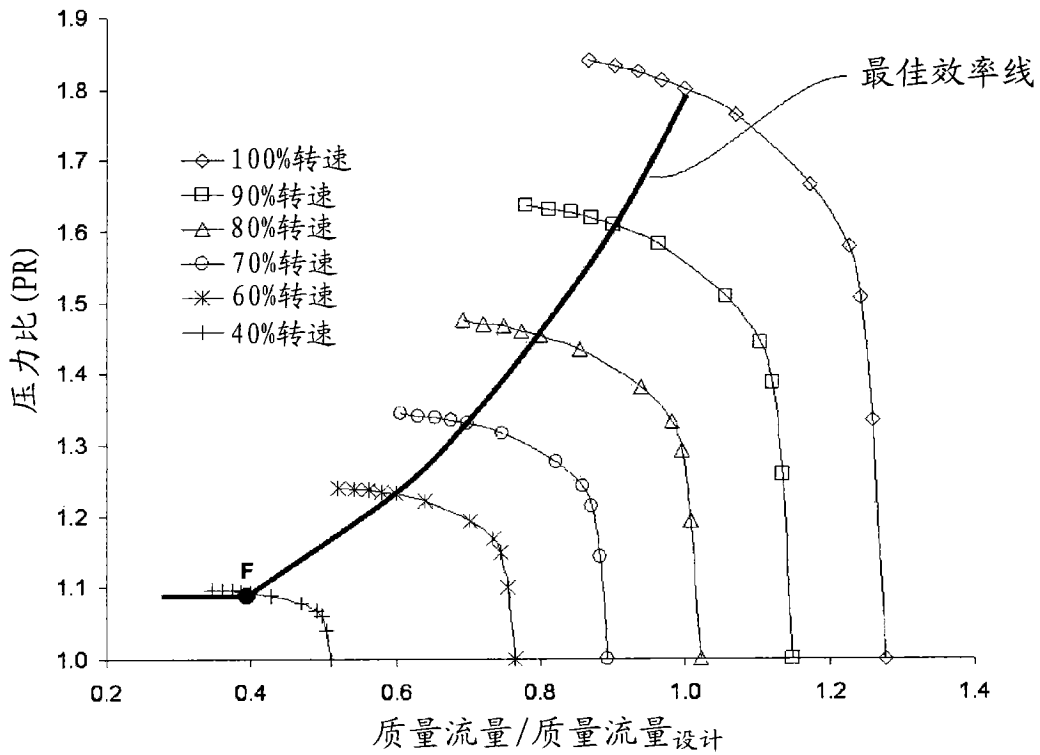


图 10